

논문 2010-47CI-4-13

# 전류 궤적 영상의 특징과 트리모델을 이용한 태양광 전력 인버터의 고장진단

( Fault Diagnosis of Solar Power Inverter Using Characteristics of Trajectory Image of Current And Tree Model )

황 재 호\*

( Jae Ho Hwang )

## 요 약

태양광 발전 시스템은 태양 전지에 의해 태양 에너지를 직류로 변환하며 이 직류를 인버터에 의해 일반 가정에서 사용되는 교류로 변환한다. 최근 태양광 발전 시스템의 전력량이 증가하는 추세이므로 대전력을 전송하는 3상 시스템에 관한 연구가 중요하다. 본 논문에서는 태양광발전의 계통연계 시스템의 3상 PWM 인버터의 스위치 개방이 발생했을 경우, 이를 간단히 검출하고 식별하는 방법을 제안한다. 제안 방법은  $\alpha\beta$  평면에서 전류 벡터의 궤적 영상의 패턴을 특징으로 하여 정상상태와 각각의 고장 상태를 결정하여 트리로 분류한다. 트리 구성을 위한 고장패턴은 21개로 하였으며 고장 패턴트리의 결정을 위한 분류 파라미터는 모양, 영역, 분산각, 벡터각으로 하였다. 각 고장에 대하여 제안방법의 성능을 평가한 결과 모든 고장요소를 정확히 분류하여 패턴 트리를 구성하였다.

## Abstract

The photovoltaic system changes solar energy into DC by solar cell and this DC is inverted into AC which is used in general houses by inverter. Recently, the use of power of the photovoltaic system is increased. Therefore, the study of 3 phase solar system to transmit large power is very important. This paper proposes a method that finds simply faults and diagnoses the switch open faults of 3-phase pulse width modulation (PWM) inverter of grid-connected photovoltaic system. The proposed method in  $\alpha\beta$  plane uses the patterns of trajectory image as the characteristic parameters and differentiates a normal state and open states of switches. Then, the result is made into tree. The tree is composed of 21 fault patterns and the parameters to classify faults are a shape, a trajectory area, a distributed angle, and a typical vector angle. The result shows that the proposed method diagnosed fault diagnoses, classified correctly them, and made a pattern tree by fault patterns.

**Keywords :** pattern recognition, image understanding, fault diagnosis, decision tree

## I. 서 론

여기에 서세계적으로 기후변화 협약과 에너지 자원의 고갈문제가 대두되면서 태양 에너지에 대한 관심이 고조되어 태양 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 연

구가 선진국을 중심으로 폭넓게 진행되고 있다<sup>[1]</sup>. 국내에서도 대체 에너지를 이용하여 발전된 전력을 상용계통에 공급할 수 있도록 하는 연구가 진행되어 왔다. 이러한 태양광 에너지를 이용한 태양광 발전 시스템은 태양 전지에 의해 태양광을 전력(직류)으로 변환하며 이 직류를 인버터에 의해 일반 가정에서 사용되는 교류로 변환한다<sup>[2]</sup>. 태양광 발전 시스템은 PV array, 인버터, 배터리, 제어시스템 등으로 구성되며 크게 독립형 시스템(stand-alone system)과 계통연계 시스템

\* 정희원, 한밭대학교 전자공학과,  
(Dept. of Electronic Engin., Hanbat National University)  
접수일자: 2010년4월12일, 수정완료일: 2010년7월7일

(grid-connected system)의 두가지로 나눌 수 있다. 독립형 시스템은 도서 산간지역 전원공급용으로 사용되며 계통연계 시스템은 전력계통과 연계되는 분산전원 형태의 시스템으로 주택용 및 대규모 전력 공급용으로 사용되어진다. 계통연계 시스템은 방전 출력을 상용 계통과 접속하여 연계 동작하여, 태양광발전 전력에 여분이 있을 때는 상용계통에 보내고 부족할 때는 상용계통에서 공급받아 종합적인 에너지 소비효율을 높일 수 있다. 계통연계형 태양광 발전시스템은 그 발전 전력량에 따라서 단상 또는 3상 시스템으로 나뉘게 된다. 최근에는 태양광 발전 시스템의 전력량이 증가하는 추세이므로 대전력을 전송하는 3상 시스템에 관한 연구가 중요하다.

태양 에너지를 사용하기 위한 노력으로 전력 인버터와 결합된 광전자(PV) 발전은, 단지 AC 전동기 뿐 아니라, 작고 큰 전력 발전 소자와 연결된 그리드에 유연한 전력을 공급할 효율적인 방법이며 태양광 발전 시스템에서 태양광 전력 인버터는 다양한 종류의 부하, 건축 기기 및 단일 배전하에서 태양광 전지로부터의 DC 전기를 AC 정현파로 변환하는 광전지 전력인버터의 한 종류로 중간 전압의 태양 인버터의 경우, 높은 효율성과 출력 전압 때문에 스위칭 모드 PWM 인버터가 널리 사용되어 왔다<sup>[3]</sup>.

태양광 발전 시스템에서는 다양한 고장이 발생할 수 있다. 인버터의 스위칭 소자의 고장, 저주파 필터에서의 캐패시터나 인덕터의 고장과 같은 다양한 고장이 갑자기 발생을 하면 전체 전력 시스템으로 고장이 전파되어 전체 시스템은 그 기능을 멈추게 될 수 있다. 또한 장치에서의 이와 같은 문제와 입력 전압의 리플은 태양 전력 인버터의 부가적인 고장이다. 태양광 전력 시스템에서 고장 진단은 중요한 연구 분야이다.

본 논문에서는 대용량 태양광 발전 시스템의 3상 시스템에 적용이 가능한 PWM 인버터에 고장이 발생했을 경우, 이를 간단히 검출하고 식별하는 방법을 제안한다. 제안 방법은 인버터의 고장 중 스위치 개방을 중심으로 고장이 유무를 판별하고, 각 고장의 발생을 진단한다.  $\alpha\beta$  평면에서 전류 벡터의 궤적은 정상적이거나 고장인 경우에 인버터 전류의 궤적은 다른 패턴들이 존재하며 따라서 쉽게 분류된다. 제안방법은  $\alpha\beta$  평면에서 전류 벡터의 궤적 영상의 특징을 추출하여 패턴을 분류하고 트리를 구성함으로써 구현한다.

본 논문은 II장에서 태양광 시스템과 인버터 고장에

대해 다루고 제안된 방법을 소개한다. 또한 제안된 인버터의 스위치 개방고장 시 감지방법에 대해 실험결과를 보여 성능을 확인하였다.

## II. PV 인버터 시스템과 고장진단

### 1. PV 인버터 시스템 구성

PV 인버터 시스템은 시스템의 크기와 요구되는 에너지 관리에 따라 다른 방법으로 구성된다. 그것은 크게 4가지로 분류될 수 있는데 DC 전력을 생산하는 태양광 어레이와 DC 전력을 AC 계통 전력으로 변환하는 인버터, 계통보호 장치, 분전반으로 구성되어 있다. 태양광 어레이에 의한 출력 전력은 기후 조건에 의해 심각하게 영향을 받는다. PV 전지는 태양광과 태양 한주기 동안 셀 온도에 의존적이며 PV 전지로부터 최대 출력 전력을 이끌어 내기 위해 태양 전력 제어기는 전압을 최대 전력 위치(MPPT: Maximum Power Point Tracking)를 이끌어 내도록 최대전력추종제어를 한다<sup>[4]</sup>. 또한 일반적으로 태양광 인버터는 계통을 보호할 수 있도록 시스템화 되어 있다. PV 인버터 시스템은 크게 독립형 시스템과 계통연계형 시스템으로 구분되며 그림 1은 인버터 단독으로 교류 부하에 전력을 공급하는 독립형 PV 시스템으로 기존의 인버터 방식이 대부분 이에 속한다. 독립형 시스템은 모듈을 직·병렬로 연결한 태양전지 어레이와 안정된 전기 공급을 위한 전력 조절기(power controller) 혹은 직·교류 변환장치(inverter), 전력저장용 축전지(storage battery), 그리고 데이터 수집 및 전송용 주변장치로 구성된다. 대체 에너지로서 태양광 발전 시스템을 독립형 시스템과 같이 단독으로 전원설비를 구성하면 경제적 시스템 운영과 안정된 전원의 이용이 가능하다. 이때 제어기나 전압 안정기가 있는 제어기는 PV 전압원의 출력 전력을 안정화하기 위해 필요하다. 이러한 독립형 전원설비에 있어서 태양전지의 직류출력의 직·교류변환 장치인 인버터는 발전시스템과 교류 부하를 연결함에 반드시 필요한 장치이다.

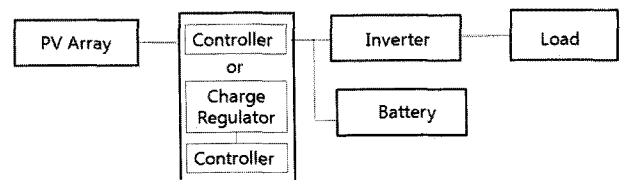


그림 1. 독립형 PV 인버터 시스템  
Fig. 1. Stand-alone inverter system.

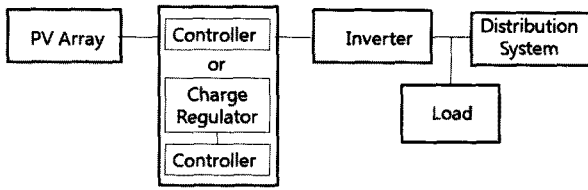


그림 2. 계통연계형 PV 인버터 시스템  
Fig. 2. Grid-connected PV inverter system.

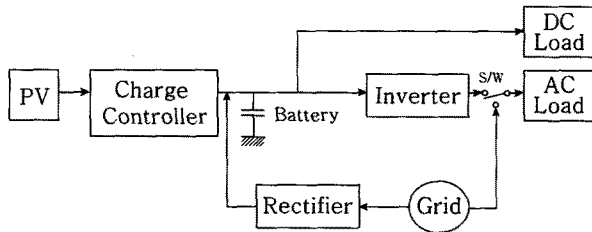


그림 3. 기본전지와 백업전지로 동작하는 계통 연계형 PV 인버터 시스템  
Fig. 3. PV inverter system working as primary and backup source.

그림 2는 계통연계형 시스템으로 태양전지에서 중간에 발전된 전력은 인버터를 거쳐 항상 부하와 계통에 공급하도록 구성한다. 즉, 직접 상용전원에 연결하여 부하의 변동에 따라 계통선과 전력을 상호 교류할 수 있도록 구성된다. 계통연계형 태양광 발전 시스템은 소비 전력량이 많으면 잉여전력을 상용계통에 공급하고 발전량이 소비전력량보다 적으면 부족전력을 상용계통에서 공급받는 형식이다.

그림 3은 PV 시스템이 기본전지와 백업 전지로 동작하는 그리드 시스템과 연계된 계통연계형 PV 연계시스템의 블록다이어그램이다. 이 시스템의 스위치는 태양이 존재하는 낮 시간 동안 인버터를 연결하고 PV는 인버터를 통하여 부하에 전력을 공급한다. 밤 또는 태양이 부분적으로 존재하는 동안 그리드 전원은 단지 배터리를 충전하고 부하는 그리드로부터 그것의 전력을 가져오며 그 시스템은 인버터의 단절동안 그리드로 스위치한다.

2. PV 인버터 시스템의 고장 분석

PV 인버터 시스템에서는 다음과 같은 다양한 종류의 고장이 발생한다.

- i) PV 전원
- ii) 제어기, 전원 안정기 또는 : 장치의 고장, 회로에서의 고장

- iii) 전압원 : 캐패시터 고장
- iv) 부하 : 위상 손실, 그라운드 접지, 단락, 개방
- v) PWM 인버터 : on-off 고장 또는 사이리스터 장비
- vi) 그리드 : 스위치 고장, 단락

이 논문에서는 단지 인버터의 스위치에서 발생하는 고장만을 고려하며 다른 고장은 다른 연구분야로 분류된다. 즉, PWM 인버터의 스위치 고장이 진단 모델에서 분석된다. PWM 인버터는 3-상 장치로서 진단 모델을 위해 사용되는 신호는 인버터 출력의 3-상 전류이다. 전기적 또는 스위치로 인한 인버터 구동 시스템에서 고장은 인버터의 출력 측에서 전류 파형에 반영된다.

그림 4는 계통연계형 3상 인버터 시스템의 기본 구성도를 보여준다. 인버터 시스템의 고장은 전원측 고장, 스위칭 소자 고장, 부하측 고장, 센서고장, 직류단 커패시터 고장 등으로 구분할 수 있다<sup>[5-6]</sup>

1. 전원단 고장
2. 스위치 개방 고장
3. 스위치 단락 고장
4. 선간 단락 고장
5. 한 상 지락 고장
6. 전류 센서 고장
7. 직류단 모선 지락 고장
8. 직류단 커패시터 단락 회로 고장

인버터의 고장 중 인버터의 스위칭 소자의 고장 중 빈번하게 발생하는 고장은 스위치 단락회로 고장이며 일반적인 단락회로 판별은 콜렉터-이미터 전압 검출 방법에 의해 이루어진다. 스위칭 개방회로 고장 또한 발생 빈도가 높은 고장이며 장시간 고장이 검출되지 않고 방치될 수도 있다<sup>[7]</sup>. 개방 회로의 고장이 장시간 방치될

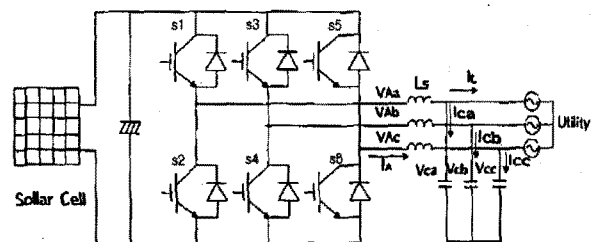


그림 4. 계통 연계형 3 phase 인버터 시스템  
Fig. 4. Grid connected 3 phase inverter system.

경우 다른 소자에 영향을 미치어 2차 고장을 야기할 수 있다. 따라서 스위치 개방 회로의 고장 검출은 2차 고장의 조기 예방 측면에서 매우 중요하다.

### III. 진단 모델과 패턴 인식

전원으로부터 광 에너지를 추출(draw)하도록 설계된 PV 인버터의 출력 전류는 정상적이거나 고장인 경우의 그 자체의 궤적 모드가 있다. 따라서 전류의 궤적은 영상의 패턴으로 표현할 수 있으며 있으며 인버터에서 발생하는 스위치 장치의 각 고장은 각각 단일 패턴들이 존재하며 그 특징에 의해 쉽게 분류된다. 따라서 본 논문에서는 인버터 출력의 3-상 신호를 2-상 공간으로 변환하여  $\alpha\beta$ 평면<sup>[8]</sup>에서 전류 벡터의 궤적 영상의 패턴을 분석하여 고장의 판별과 진단을 수행한다. 인버터 출력 전류의 3-상 시스템을  $i_a + i_b + i_c = 0$  에 근거해서 다음과 같은 식에 의해 두 전류로 변환한다.

$$i_\alpha = \sqrt{\frac{2}{3}} \left( i_a - \frac{1}{2}i_b - \frac{1}{2}i_c \right) \quad (1)$$

$$i_\beta = \sqrt{\frac{2}{3}} \left( \frac{\sqrt{3}}{2}i_b - \frac{\sqrt{3}}{2}i_c \right) \quad (2)$$

$i_\alpha, i_\beta$ 로 변환된 전류의 각 궤적 영상은 이상적인 동작 조건아래에서 완전한 원이거나 반원, 혹은 일정 각도를 갖는 호를 표현한다. 하나의 스위칭 고장의 경우에 부하의 위상 전류는 정현파의 형태가 아니며 전류의 위상은 한 방향으로 흘러간다. 반주기동안의 위상 전압은 위상전류가 양의 상태 또는 음의 상태로 흐르지 않으므로 나타나지 않는다. 따라서 고장 장치의 위상전류는 전류 주기의 반 주기동안 널(null)값이다.  $i_\alpha$ 와  $i_\beta$  사의 관계는 식(1)과 (2)에 의해  $i_\alpha = \sqrt{3}|i_\beta|$ 이다. 그러므로 대응하는 궤적은  $\alpha\beta$ 평면에서 반주기이다.  $\alpha\beta$ 평면에서 상전류의 궤

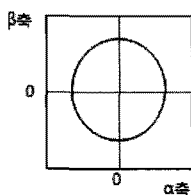


그림 5. 정상상태의  $\alpha\beta$ 상전류 궤적  
Fig. 5. The trajectory of  $\alpha\beta$  phase currents of steady state.

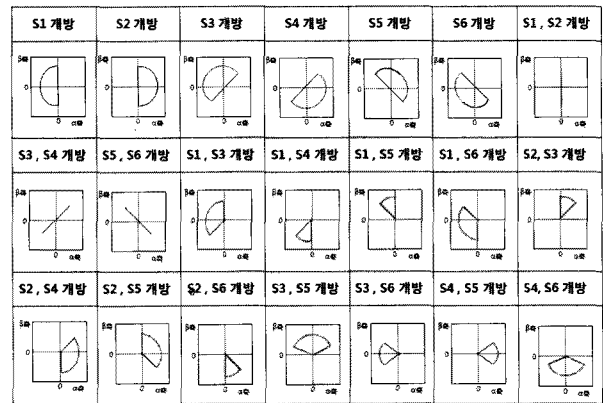


그림 6. 스위칭 개방에 의한  $\alpha\beta$  상전류 궤적  
Fig. 6. The trajectories of  $\alpha\beta$  phase currents of switch open faults.

적은 정상상태는 그림 5와 같이 원형을 나타낸다. 그러나 두 개의 스위칭 장비가 고장이 나면 궤적은 가는 선(line)이나 오른쪽 각도내의 한 부분이 된다. 만일 두 장치가 하나의 위상에 속하면 그 궤적은 위상 A에 대하여  $\beta$ 축을 움직이고 위상 B와 C에 대하여 120도 딜레이를 갖는 한 라인이 된다. 만일 두 장치가 다른 위상에 속하면 그 궤적은 한 오른쪽 각 내의 한 부분이 된다. 그 궤적은 고장 모드를 언급한다. 인버터의 스위치가 개방이 되었을 경우는 그림 6에서 볼 수 있듯이 선분과 부채꼴 모양을 나타낸다.

#### 1. 진단 파라미터

본 논문에서는 인버터의 고장 모드를 쉽게 확인하기 위해 정규화된 단위원 상에서 궤적영상의 특징으로 모양, 영역, 분산 각, 그리고 전형적인 벡터 각 등 관련된 네 개의 파라미터를 제안한다.

- 모양(shape) : 라인(line), 팬모양 섹터(fanwise sector)
- 영역(region) : 여섯 개의 영역(그림 7)
- 분산 각  $\theta$  : (distributed angle), 그림 8(a) :  $60m^\circ$ ,  $m=1,2,3$
- 전형적인 벡터 각  $\phi$  (typical vector angle), 그림 8(b) :  $30n^\circ$ ,  $n=1,2,\dots, 11$

모양(shape)은 인버터 전류의 고장진단을 위하여 전류의 궤적이 라인인 경우와 팬 모양의 섹터인 경우로 분류가 된다. 모양에서 라인인 경우로 분류가 되면 궤적영상이 존재하는 영역을 이용하여 고장을 진단한다. 이때 궤적 영상의 존재 영역은 그림 7에서와 같이 여섯

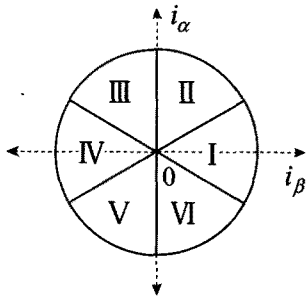


그림 7. 궤적 영상의 영역  
Fig. 7. Trajectory images regions.

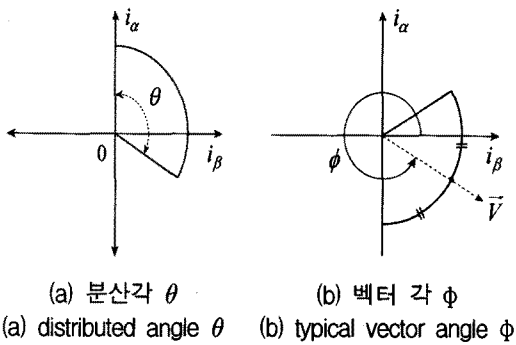


그림 8. 분산각/전형적인 벡터각  
Fig. 8. Distributed/typical vector angle(examples).

개의 영역으로 분류된다. 모양에서 전류의 궤적이 팬 모양 섹터로 분류가 될 경우 분산각  $\theta$ 와 벡터 각  $\phi$ 의 값에 의해 다시 재분류된다.  $\theta$ 는 궤적영상이 분포하는 각도로  $60^\circ, 120^\circ, 180^\circ$ 의 값을 갖으며 벡터 각  $\phi$ 는 전류의 평균벡터를 추출하여 반시계방향으로 각도를 계산한다. 제안방법은 벡터각의 계산을 단순화하여 분산각의 반으로 결정했다. 그림 8은 분산각  $\theta$ 와 벡터 각  $\phi$ 를 보여준다.

2. 패턴 분류를 위한 트리

제안방법은 인버터의 고장분석에서 네 개의 파라미터를 기준으로 고장의 패턴을 인식하여 인버터의 고장을 진단하며, 진단된 개방 고장을 패턴 인식하여 트리 다이어그램으로 맵핑한다. 즉, 제안된 진단 매개변수에 기초해서 고장을 분류하는 모델을 형성한다. 트리의 각 내부의 노드는 매개변수 중 하나에 해당되며 이 트리는 고장 패턴의 결과를 참조하는 것을 학습할 수 있다<sup>[9]</sup>.

표 1은 제안하는 트리의 패턴 노드와 그 특징 매개변수이며, 단일 스위치 개방과 두 개의 스위치 개방을 진단하기 위하여 21개의 노드로 분류된다.

그림 9는 표 1의 기준에 의해 실제 트리의 구성을 위

표 1. 트리 구성  
Table 1. Tree configuration.

node 1	node 2 ( $^\circ$ )		pattern
line b1		b11, 90	D1
		b12, 120	D2
		b13, 150	D3
sector b2	node 3, $\theta$ ( $^\circ$ )	node 4, $\Phi$ ( $^\circ$ )	
	b21, 60	b211~b216 $n=2k$	D4~D9
	b22, 120	b221~b226 $n=2k+1$	D10~D15
	b23, 180	b231~b236 $n=2k+2$	D16~D21

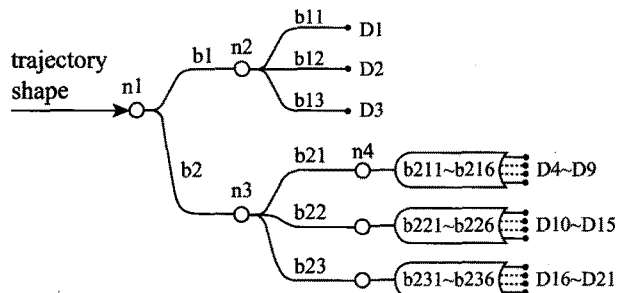


그림 9. 트리 모델과 패턴인식 모델  
Fig. 9. Tree model and pattern recognition model.

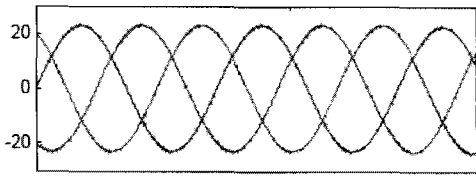
한 결정 조건들을 명시한 트리 모델과 패턴 인식 모델을 보여준다.

IV. 고장 패턴을 위한 실험

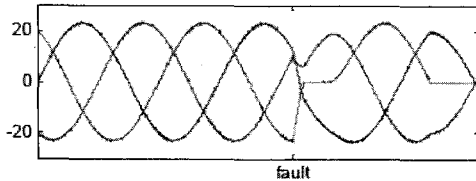
일반적으로 PV 인버터는 전기, 전자 장비의 결합로서 본 논문에서는 태양광에서 들어온 에너지가 전기로 변환된 것으로 가정하고 인버터의 고장을 실험하였다. PV인버터를 위한 제안된 실험모델은 MATLAB 7.6을 이용하여 프로그램을 작성하였다. 전동기 및 전력용 소자들은 SymPowerSystem 3.0의 라이브러리를 참조하였다.

실험에 사용된 전동기는 유도전동기 중 농형(squirrel cage) 전동기를 사용했고 220V전압, 60Hz의 주파수에서 실험했다. 고정자 저항은 0.533 $\Omega$ , 자화인덕턴스 76mH, 고정자 누설 인덕턴스 3mH, 전동기 극수 4, 회전자 저항 0.93 $\Omega$ , 회전자 누설 인덕턴스 3mH로 실험했다.

그림 10은 PWM 인버터의 출력 전류로 정상상태와 s6 스위치에서 고장이 발생했을 경우의 그림이다.

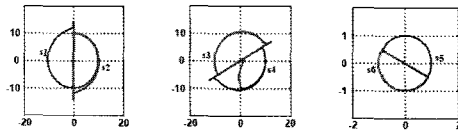


(a) 정상상태  
(a) normal state



(b) s6 고장  
(b) s6 fault

그림 10. PWM 인버터의 출력 전류  
Fig. 10. Output current of PWM inverter.



(a) s1,s2고장 (b) s3,s4고장 (c) s5,s6의고장  
(a) s1,s2 faults (b) s3,s4 faults (c) s5,s6 faults

그림 11. 고장 스위치에 따른  $\alpha\beta$  상전류 궤적  
Fig. 11. The trajectories  $\alpha\beta$  phase currents of Fault switches.

표 2. 고장 패턴  
Table 2. Fault patterns.

pattern	open-circuited devices	pattern	open-circuited devices	pattern	open-circuited devices
D1	S1 $\wedge$ S2	D8	S1 $\wedge$ S6	D15	S6 $\wedge$ S2
D2	S5 $\wedge$ S6	D9	S3 $\wedge$ S2	D16	S2
D3	S3 $\wedge$ S4	D10	S4 $\wedge$ S2	D17	S4
D4	S3 $\wedge$ S6	D11	S4 $\wedge$ S5	D18	S5
D5	S5 $\wedge$ S2	D12	S1 $\wedge$ S5	D19	S1
D6	S1 $\wedge$ S4	D13	S1 $\wedge$ S3	D20	S3
D7	S3 $\wedge$ S5	D14	S3 $\wedge$ S6	D21	S6

그림 11은  $\alpha\beta$  평면에서 부하를 이용하여  $\alpha\beta$  평면에서 일정 크기로 전류제어를 하고 고장 상황을 부여하여 신호의 상전류 궤적을 관찰한 결과이다.

표 2는 인버터의 출력을 일정 크기로 전류제어를 하고 고장 상황을 부여하여 본 논문에서 제안된 네 개의 특징 파라미터를 이용하여 신호의 상전류 궤적을 분류하여 트리의 패턴을 구성한 결과로 21개의 인버터 스위

치 개방을 진단하여 분류하여 패턴 목록이 구성됨을 보여준다.

### V. 결론

본 논문은 태양광발전 시스템에서 계통연계형 시스템의 대용량 전력의 공급을 위한 3상 인버터 시스템의 스위치 개방 고장의 검출과 진단을 위한 파라미터를 제안하고 제안된 파라미터를 이용하여 고장진단을 위한 트리 모델을 제안한다.

고장의 발견과 진단을 위한 파라미터는 모양, 영역, 분산각과 전형적인 벡터각의 4가지 특징으로 구성되며 이 특징들은 인버터 출력 전류를  $\alpha\beta$  평면으로 변환하여 그려지는 궤적 전류 영상을 이용하여 추출한다.  $\alpha\beta$  평면에서의 궤적 영상은 고장시 각 스위치의 개방에 따라 다른 특징을 나타내며 따라서 궤적 모드의 영상 이해의 분석에 근거해 고장에 따른 특징을 패턴화하여 트리를 구성하였다. 트리의 노드는 단일 스위치 개방과 두 개의 스위치 개방의 고장 진단이 가능하도록 21개의 노드로 구성되며 진단을 위한 매개변수가 확인된 후에 결정 트리가 구성된다.

제안된 방법은 매트랩 시뮬링크 툴박스를 이용하여 실험하였으며 제안된 방법은 고장 패턴은 각 스위치 고장을 쉽게 진단한다. 제안방법은 실험시스템에 응용될 수 있다.

### 참고 문헌

- [1] D. C. Martins, R. Demonti and I. Barbi, "Usage of the Solar Energy from the Photovoltaic Panels for the Generation of Electrical Energy," *INTELEC 99*, pp. 17-3
- [2] T.Tawara, T.Aoki and Y.Kawagoe, "An Efficient Interactive Inverter for a Photovoltaic System," *APEC 99'*, pp. 653-658
- [3] J. Rajagopalan and B.H. Cho, "Space-Vector Modulated PWM Converters for Photovoltaic Interface Applications: Analysis, Control and Power Management Issues," *IEEE APEC 1995*, pp. 814-820
- [4] Bellini, A., Bifaretti, S., Iacovone, V., "Resonant DC-DC Converters for Photovoltaic Energy Generation Systems," *SPEEDAM 2008 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, June

- 2008, pp. 815-820.
- [5] Guan, Y., Sun, D., He, Y., "Mean Current Vector Based Online Real-Time Fault Diagnosis for Voltage Source Inverter fed Induction Motor Drives," *IEEE International Electric Machines & Drives Conference*, vol. 2, May 2007, pp. 1114 - 1118.
- [6] Ye, Z., Wu, B., "Simulation of Electrical Fault of Three Phase Induction Motor Drive System," *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, vol. 1, June 2001, pp. 75 - 80.
- [7] Son, H.L., Kim, T.J., Kang, D.W., Hyun, D.S., "Fault Diagnosis And Neutral Point Voltage Control When The 3-Level Inverter Fault Occur," *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Aachen, Germany, 2004.
- [8] Peugeot, R., Courtine, S., Rognon, J., "Fault Detection and Isolation on a PWM Inverter by Knowledge-Based Model," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 34, No. 6, Nov.-Dec. 1998, pp.1318-1326.
- [9] J. C. Russ, *The Image Processing Handbook*, 2nd ed, Boca Raton, FL: CRC, 1995.

---

— 저 자 소 개 —

---



**황재호**(정회원)

1982년 2월 아주대학교

전자공학과 (공학사)

1986년 2월 서울대학교

전자공학과 (공학석사)

1994년 2월 서울대학교

전자공학과 (공학박사)

1982년 3월~1992년 2월 전력연구원 부장대리

1992년 3월~현재 한밭대학교 정보통신 공학과

<주관심분야 : 컴퓨터비전, 영상처리, 디지털신호 처리>